

MILAN ADAMOVIĆ¹, MIRJANA STOJANOVIĆ¹, ZORICA LOPIČIĆ¹
JELENA MILOJKOVIĆ¹, ČASLAV LAČNJEVAČ², JELENA PETROVIĆ¹
ALEKSANDRA BOČAROV- STANČIĆ³

Pregledni rad
UDC:623.466:628.381.1

Biosorpcija mikotoksina otpadnom biomasom

U radu su prikazani rezultati *in vitro* istraživanja mogućnosti korišćenja otpadne biomase vodenog korova *Myriophyllum spicatum* (*M. spicatum*, krocanj ili drezga) i koštica voća (breskva i višnja), u prirodnom i modifikovanom obliku, kao potencijalnih biosorbenata mikotoksina. Indeks biosorpcije je ispitivan na pH 3.0; 6.9 i 7.0 u elektrolitu 0.1 M K₂HPO₄. Visok indeks biosorpcije aflatoxina B1 (AFL B1) utvrđen je za algu *M. spicatum* (94,70 odnosno 96,00 %). Nemodifikovane koštice breskve su vezivale manje količine AFL B1 (73.30 odnosno 80.00 %) dok je kod koštice višnje adsorpcija istog mikotoksina bila vidno slabija (58,82 odnosno 41,18%). Vrednosti biosorpcije za ohratoksin A (OTA), imale su, zavisno od biosorbenta i pH, izražena variranja (od 20.00 do 76.20 %). Najveći afinitet prema vomitoksinu (DON), imale su nemodifikovane koštice breskve (50 %), pri pH 6.9, a prema zearalenonu (ZON) vodeni korov *M. spicatum* (70 odnosno 75%). Afinitet prema diacetoksiscirpenolu (DAS), iako znatno slabiji, utvrđen je na obe pH vrednosti kod modifikovane koštice breskve (16.67 odnosno 33.33%) i modifikovane koštice višnje (16.67%). Podjednako dobar afinitet prema T-2 toksinu utvrđen je kod modifikovane koštice breskve i koštice višnje u nemodifikovanom i modifikovanom obliku (50.00 odnosno 40.00 %); pri nižoj pH vrednosti (3.0) upotrebljenog elektrolita afinitet prema ovom mikotoksinu je bio veći. Ostvareni rezultati ukazuju da su ispitivane otpadne biomase u prirodnom ili modifikovanom obliku bile efikasni biosorbenti pojedinih mikotoksina sa najvećim afinitetom prema AFL B1.

Cljučne reči: otpadna biomasa, *Myriophyllum spicatum*, koštice voća, biosorpcija, mikotoksini

1. UVOD

Zahvaljujući povećanju standarda i edukaciji potrošača interesovanje za higijenski ispravnu i zdravstveno bezbednu hranu, u svetu a i u našoj zemlji, neprestano raste. Posebno je povećan interes za hranu koja se proizvodi u uslovima organske proizvodnje koja isključuje upotrebu hemijskih sredstava za zaštitu bilja, veštačkih đubriva, antibiotika, hormona i drugih hemijskih sredstava, i ne sadrži teške metale, radionuklide, mikotoksine i druge po zdravlje potrošača štetne materije.

Hrana i biljni materijali koji sadrže više od 14% vlage dobar su medijum za razvoj plesni. Plesni koje se na njima razvijaju najčešće pripadaju rodovima *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Mucor* i dr., luče sekundarne metabolite mikotoksine. Među poznatije i bolje izučene toksine spadaju aflatoksini, ohratoksin, zearalenon i trihoceteni (T-2 toksin, HT-2 toksin, deoksinivalenol - DON, diacetoksiscirpenol - DAS i dr.), koji su široko rasprostranjeni u prirodi i predstavljaju stabilna hemijska jedinjenja koja mogu da izdrže procese termičke prerade hrane.

Adrese autora: ¹Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, Srbija, ²Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, ³“Bioekološki centar“ d.o.o. Zrenjanin, Srbija

Primljeno za publikovanje: 10. 07. 2013.

Prihvaćeno za publikovanje: 10. 10. 2013.

Mikotoksini imaju štetan uticaj na zdravlje ljudi i životinja. Mogu da prouzrokuju nastanak patomorfoloških promena na organima, a poznata su i njihova kancerogena, mutagena i teratogena dejstva. Poremećaji prouzrokovani mikotoksinima posebno su dobro opisani kod životinja (goveda, ovace, svinje i živina) koje su izložene najvećem riziku od štetnog uticaja mikotoksina i prve su na njihovom udaru [1]. Ove posledice se manifestuju u vidu: smanjenog konzumiranja i iskorišćavanja hrane, manjeg prinosa mleka, mesa i jaja, promena na reproduktivnim organima i smanjenja reproduktivne sposobnosti, manje vitalnosti i pojave degenerativnih promena kod mladunaca, promena krvne slike, nervnih smetnji, poremećaja funkcije digestivnog trakta, povećanog broj somatskih ćelija u mleku, rezidua mikotoksina u mleku, mesu i jajima, slabijeg imuniteta i drugih neželjenih posledica. Oboljenja uzrokovana toksinima (mikotoksikoze) ne mogu se lečiti i ne prouzrokuju stvaranje antitela. U zavisnosti od uzročnika poremećaja one se mogu podeliti na: aflatoksikoze, ohratoksikoze, zearalenon toksikoze i trihotecenske toksikoze. Štetno delovanje mikotoksini ispoljavaju u akutnom, hroničnom i sekundarnom obliku [2, 3, 4]. Danas se u svetu sprovode opsežna i detaljna istraživanja o mogućnosti zaštite ljudi i životinja od štetnog uticaja mikotoksina. Posebna pažnja posevećena je iznalaženju mogućih preventivnih mera u cilju sprečavanja razvoja plesni i akumuliranja mikotoksina u biljkama u procesu gajenja, odnosno, lagerovanja u skladišnim uslovima.

Strategija zaštite od mikotoksina obuhvata stvaranje biljnih kultura otpornih na plesni, primenu savremenih i efikasnih agrotehničkih mera i mehanizacije za ubiranje, pravovremnu žetvu, kvalitetno skladištenje [5, 6]. Metode zaštite od štetnog delovanja mikotoksina mogu se podeliti na fizičke, hemijske i biološke metode. Fizičke metode podrazumevaju razređivanje, odvajanje kontaminiranih od nekontaminiranih zrna, mlevenje, čišćenje, pranje, odvajanje plevica od zrna, poliranje, termičko tretiranje. U radu [7] izneti su rezultate prema kojima i proces mlevenja žitarica može da doprinese smanjenju koncentracije mikotoksina u hrani namenjenoj ljudima, čime se ne rešava problem koncentracije mikotoksina u nusproizvodima mlevenja namenjenim za ishranu životinja. Hemijske metode obuhvataju izlaganje hrane dejstvu kiselina ili baza, sumpor dioksidu, amonijaku, ozonu, vodonik peroksidu itd. Biološke metode se odnose na poboljšanje nutritivne vrednosti obroka povećanjem sadržaja energije i proteina, dodatnim uključivanjem minerala, vitamina, probiotika, enzima, aminokiselina, mikrobijalnih inokulanata, inhibitora razvoja plesni, kao i adsorbenata mikotoksina [8].

U zaštiti od mikotoksina najčešće se koriste adsorbenti neorganskog porekla: hidratizirani natrijum kalcijum aluminosilikat (HSCAS), prirodni i modifikovani bentonit i zeolit, diatomit i određen broj proizvoda na bazi različitih vrsta glina [9,10]. Afinitet prema određenim mikotoksinima pokazuju i lucerka, kvasac, aktivni ugalj i holestiramin [8].

Novija istraživanja [11, 12, 13, 14] i druga su pokazala da otpadna biomasa vodenog korova *Myriophyllum spicatum* (*M. spicatum* krocanj ili drezga) iz slatkovodnih voda i nusproizvodi prehrambene industrije u obliku koštica voća (breskva, višnja) mogu da, sa više ili manje uspeha, adsorbuju pojedine mikotoksine, što je predmet ovog rada.

2. HEMISKI SASTAV OTPADNE BIOMASE

Otpadna biomasa agroindustrijskog i urbanog porekla je ekonomski i ekološki isplativ materijal zahvaljujući svom hemijskom sastavu, pristupačnosti, obnovljivoj prirodi i ceni. Uglavnom nema upotrebnu vrednost i predstavlja balast životne sredine [15,16]. Najčešće je to otpad iz primarne poljoprivredne proizvodnje (slama, pleva, ljuska, oklasak kukuruza, mahune graška itd.) sporedni proizvodi prehrambene industrije (rezanac šećerne repe, pivski trop, koštice i pulpa voća, groždane semenke, ljuska oraha, lešnika, badema, kokosa itd.), industrije drveta (kora, strugotina, piljevina drveta, lišće, borove iglice, mahovina itd.), industrije morskih plodova (luštura školjki, rakova). Efikasnost biosorbenata može se povećati aktivacijom: hemijskom (kiselinama i bazama), fizičkom (termički, ultrazvučni ili mehano-hemijski tretman) i

mikrobiološkom [17, 18]. Mehanizmi na kojima se zasniva biosorpcija su pojedinačne ili višestruke jonske izmene, gradnja kompleksa, adsorpcija, elektrostatička interakcija, taloženje i građenje helata. Slično jonoizmenjivačima, biosorbenti mogu da odvoje pojedine jone odgovarajućim hemijski aktivnim grupama koje se nalaze u njihovoj strukturi (hidroksilna, karbonilna, karboksidna, amidna, fosfatna i dr.). Izbor odgovarajućeg biosorbenta se može izvršiti na osnovu: ravnotežnih izoterma, koeficijenta difuzije, dostupnosti i cene [19,20,21]. Efikasnost adsorpcije biomase se izražava preko indeksa adsorpcije (jednačina 1), gde je C_i inicijalna a C_{eq} ravnotežna koncentracija mikotoksina [22].

$$\text{Indeks adsorpcije} = [(C_i - C_{eq}) / C_i] * 100 \quad (1)$$

U radu je dat prikaz hemijskog sastava (tabela 1) biomase koštica breskve, otpadnog lignoceluloznog materijala, iz Fabrike za preradu sokova „Vino Župa” iz Aleksandrovca i *M. spicatum* iz savskog jezera, lokacija Ada Ciganlija, Beograd. Podaci ukazuju da je sadržaj proteina, masti i celuloze u *M. spicatum* veoma sličan sadržaju biljaka iz porodice leguminoza (lucerka i detelina) koje se gaje na poljima ovog regiona i koriste u ishrani domaćih životinja u svežem ili suvom stanju (seno) ili konzervisanom obliku (silaza ili senaža).

Tabela 1 - Hemijski sastav biomase (%)

Parameter	<i>M. spicatum</i> ¹	Koštice breskve ¹	Koštice višnje ²
Suva materija	91.11	92.23	94.09
Vlaga	8.89	7.77	5.91
Sirovi protein	17.95	1.26	1.48
Sirova mast	1.28	0.05	0.04
Sirova celuloza	23.33	58.05	54.74
Pepeo	17.64	0.42	0.33
BEM	30.91	32.45	37.50
NDF- Neutral detergent fiber	33.38	71.12	65.18
ADF- Acid detergent fiber	30.96	66.12	62.47
Lignin	6.33	16.54	17.47

¹[13,16]

Koštice breskve i višnje po hemijskom sastavu imaju dosta sličnosti u većini sastojaka. U oba materijala, sadržaj proteina je izuzetno mali (1.26-1.48%) kao i masti (0.04-0.05%). Sadržaj celuloze, NDF (celuloza + hemiceluloza + lignin) i ADF (celuloza + lignin) dominira i iznosi > 50%, a takođe je visok i sadržaj lignina (> 16.50%).

3. BIOSORPCIJA MIKOTOKSINA

In vitro metodom testirana je biosorpcija šest mikotoksina: aflatoxin B1 (AFL B1), ohratoksin A (OTA), dezoksinivalenol (DON), zearalenon (ZON), diacetoksiscirpenol (DAS) i T-2 toksin. Za eksperimente biosorpcije su korišćeni sirovi ekstrakti mikotoksina, proizvedeni u Odeljenju mikrobiologije Biokološkog centra d.o.o., Zrenjanin. Efikasnost vezivanja mikotoksina ispitivanih biosorbenata ocenjivana je u elektrolitu 0.1 M K₂HPO₄, na pH vrednostima 3.0 i 6.9 odnosno 7.0, sobzirom da se u najvećem delu digestivnog trakta životinja (želudac i creva), pH nalazi u opsegu ispitivanih vrednosti. Maseni odnos pojedinačnih mikotoksina i biosorbenata je iznosio 1:5000. Eksperimentalne smeše su inkubirane tokom 1 sata na rotacionoj tresilici (185 o/min) i sobnoj temperaturi (22-25°C). Nakon inkubacije vršena je

ekstrakcija neadsorbovanih mikotoksina iz filtrata organskim rastvaračima i kvantifikacija istih metodom tankoslojne hromatografije (TLC), što je detaljno opisano u radu [11]. Veličina čestica ispitivane biomase iznosila je < 100 µm.

Efikasnost biomase *M. spicatum* i koštice breskve u adsorpciji mikotoksina pri pH vrednosti (3.0 i 6.9), prikazana je u tabeli 2 [12]. Biosorpcija AFL B1 pri obe vrednosti pH (3.0 i 6.9) bila je veoma visoka i veća za *M. spicatum* (96.00: 94.70%) u odnosu na košticu breskve (73.30:80.00 %). Nije utvrđen značajniji uticaj pH vrednosti sredine na indeks biosorpcije ovog mikotoksina. Koštica breskve je vezivala veće količine OTA od (66.67% odnosno 50.00%) od *M. spicatum* (50,00% odnosno 30,00%) pri čemu je kod obe ispitivane biomase adsorpcioni indeks bio veći pri nižoj pH vrednosti.

Tabela 2 - Indeks biosorpcije mikotoksina sa *M. spicatum* i nemodifikovanim košticama breskve, (%)

Biosorbent	pH	AFL B1	OTA	DON	ZON	DAS	T-2
<i>M. spicatum</i>	3.0	96.00	50.00	0	70.00	0	16.67
	6.9	94.70	30.00	0	75.00	0	33.33
Koštica breskve nemodifikovana	3.0	80.00	66.67	25.00	53.30	0	16.67
	6.9	73.30	50.00	50.00	33.33	0	33.33

Ovaj rezultat je sličan rezultatu [23] koji su koristeći adsorbente biljnog porekla pri vrednosti pH od 3.0 i 6.5 utvrdili sličan indeks adsorpcije OTA. Koštica breskve, koja sadrži veću količinu celuloze adsorbirala je mikotoksin DON u relativno malom iznosu (25.0% odnosno 50.00%), što nije bio slučaj kod *M. spicatum*. Biosorpcija DON pomoću koštice breskve bila je bolja pri višoj vrednosti pH (6.9). Vezivanje ZON je bilo različito i zavisilo je od pH. *M. spicatum* je uspešnije adsorbirao ZON (70.00% odnosno 75.00%) u odnosu na košticu breskve kod koje je biosorpcija ovog mikotoksina bila znatno manja, mada relativno dobra (53.30 % odnosno 33.33%). Interesantno je napomenuti da je *M. spicatum* bolje adsorbirao ZON pri pH 6.9 a koštica breskve pri pH 3.0. Nijedan od ispitivanih biosorbenata prikazanih u tabeli 2 nije vezivao DAS. Biosorpcija T-2 toksina za oba ispitivana biosorbenta zavisila je od pH i iznosila je 16.67 (pH 3.0) odnosno 33.33% (pH 6.9).

Tabela 3 - Indeks biosorpcije mikotoksina modifikovanim košticama breskve (%)

Biosorbent	pH	AFL B1	OTA	DON	ZON	DAS	T-2
Koštica breskve modifikovana	3.0	41.18	42.86	40.00	33.33	16.67	50.00
	7.0	41.18	33.32	50.00	58.33	33.33	40.00

U radu [13] *in vitro* uslovima izučavana je efikasnost biosorpcije mikotoksina AFL B1, OTA, DON, ZON, DAS i T-2 toksina nemodifikovanim i modifikovanim košticama višnje. Indeksi biosorpcije

Podaci o biosorpciji mikotoksina od strane *M. spicatum* podudaraju se sa podacima o mogućnosti biosorpcije mikotoksina sličnim biljnim materijalima (lucerka). U istraživanjima [24, 25] lucerka je u eksperimentu s pacovima doprinela smanjenju štetnih efekata visoke koncentracije zearalenona i T-2 toksina. Ona međutim nije dala željene efekte na otklanjanju problema toksikoze svinja hranjenih obrokom kontaminiranim zearalenonom (50 mg /kg hrane) dok je delimično bila efikasna kod svinja hranjenih obrokom sa manjim sadržajem zearalenona (10 mg/kg hrane).

Indeks biosorpcije mikotoksina [14] ispitivan je i sa modifikovanom košticom breskve (aktivirane sa 1 M HCl) pri pH 3.0 i 7.0 (tabela 3.) Vrednosti za DAS i T-2 bile su veće u odnosu na nemodifikovane koštice breskve [12]. Suprotno tome, vrednosti indeksa adsorpcije za AFL B1 i OTA su bile značajno veće kod nemodifikovane koštice breskve.

mikotoksina adsorbentom na bazi prirodne i modifikovane koštice višnje (aktivirane sa 1M HCl), prikazani su u tabeli 4. Biosorpcija AFL B1 bila je veoma slična za nemodifikovanu i modifikovanu košticu

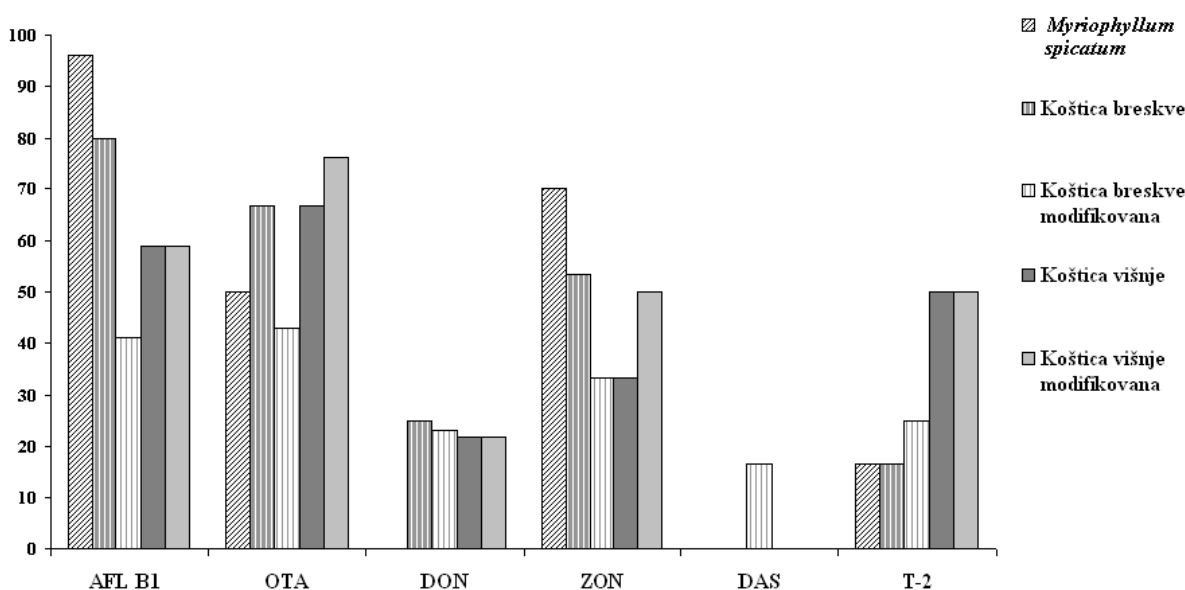
višnje i iznosila je u većini slučajeva 58.82%. Jedino je pri pH 7.0 kod nemodifikovane koštice višnje bila nešto niža i iznosila 41.18%. Utvrđene vrednosti su vidno niže u odnosu na indeks biosorpcije ovog mikotoksuina biosorbentom na bazi *M. spicatum* odnosno košticu breskve [12]. Nemodifikovana i modifikovana koštica višnje imala je značajno veći indeks biosorpcije OTA (66.66 odnosno 76.20) pri nižem pH (3.0) u odnosu na viši pH (7.0) na kome je, za oba tipa koštice, iznosila svega 20.00%. Dobijeni rezultati su slični onima koje su ostvarili [12,23]. Vezivanje DON-a bilo je veoma slabo kod oba

biosorbenta i u zavisnosti od pH kretalo se od 21,88 do 30,00%. Efikasnost biosorpcije ZON-a je bila slabija kod nemodifikovane koštice višnje na obe pH vrednosti i iznosila je po 33.33%, dok je kod modifikovane koštice višnje bila vidno veća i takođe je pri obe vrednosti pH iznosila 50.00%. Slaba biosorpcija DAS utvrđena je samo kod modifikovane koštice višnje pri većem nivou pH i iznosila je svega 16.67 %. Vezivanje T-2 toksina za oba ispitivana biosorbenta zavisilo je od pH. Pri većoj vrednosti pH iznosilo je po 50.0% a pri nižoj 40.0%.

Tabela 4 - Indeks biosorpcije mikotoksina nemodifikovanim i modifikovanim košticama višnje, %

Biosorbent	pH	AFL B1	OTA	DON	ZON	DAS	T-2
Koštica višnje nemodifikovana	3.0	58.82	66.66	22.00	33.33	0	50.00
	7.0	41.18	20.00	30.00	33.33	0	40.00
Koštica višnje modifikovana	3.0	58.82	76.20	22.00	50.00	0	50.00
	7.0	58.82	20.00	21.88	50.00	16.67	40.00

Indeksi biosorpcije mikotoksina otpadnom biomasom na pH 3.0 i pH 6.9 i 7.0 prikazani su na graficima 1 i 2.



Slika 1 - Indeks adsorpcije mikotoksina biomasom na pH 3.0

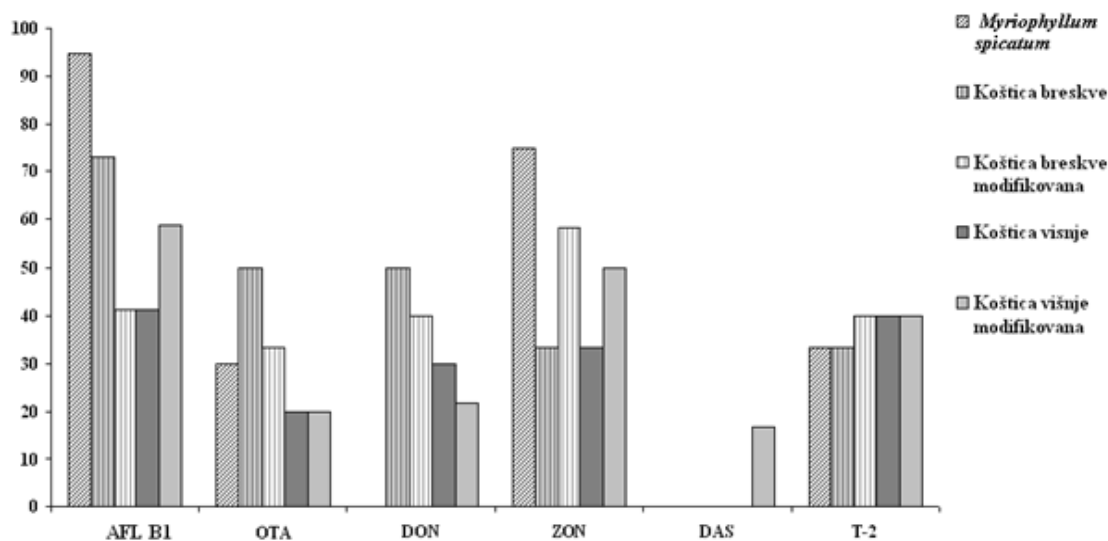
Poslednjih godina, veća pažnja posvećena je biosorbentima organskog porekla koji su dobijeni na bazi modifikovanog manan oligosaharida (esterifikovani glukomanan) izolovanog iz ćelijskog zida kvasca *Saccharomyces cerevisiae*. Matriks modifikovanog glukomanana ima pozitivno i negativno naelektrisanje koje mu omogućuje da nepovratno vezuje širi spektar mikotoksina u rasponu pH od 4.5 do 6.0. Adsorbent na bazi ćelijskog zida kvasca adsorbovao je AFL-B1 od 82.5-99.6%, ZON od 51.6-78.4%, fumonizin B1

(FB1) od 58.40-67.00%, DON 8-21%, OTA 12.49-26,4%, a T-2 toksin 33.39%. Manji indeks adsorpcije od navedenih vrednosti utvrđen je za citrulin, DAS i nivalenon [26]. Kvasac dodat u obrok za živinu u količini od 0.1% uticao je na smanjenje štetnog uticaja OTA prisutnog u obroku u količini od 5 mg/kg hrane [8].

U radu [27] utvrđen je manje izražen štetan uticaj T-2 toksina u pilića (2 ppm u obroku) na degenerativne promene sluznice tankog creva, nekrozu i

oštećenje enterocita, hepatocita i limfocita, pri korišćenju biosorbenta kombinovanog sastava, mineralnog i organskog porekla. Organski biosorbent bio je na bazi deaktiviranih ćelija kvasca *Saccharomyces cerevisiae* bakterija koje imaju sposobnost da enzimima vrše detoksikaciju trihotecena u intestinalnom traktu i ekstrakta odabranih biljka (alge i gljive) koji umanjuju imunosupresivni uticaj mikotoksina u organizmu. Ovakav sastav biosorbenata omogućuje jednovremeno odvijanje procesa biosorpcije i biotransformacije mikotoksina kao i biozaštite organizma. U sličnom istraživanju izvedenom u *in vitro* uslovima. U radu [28] opisani su rezultai prema kojima nisu

utvrđene značajnije razlike u biosorpciji T-2 toksina (od 26.06 do 34.84%) između biosorbenata neorganskog (modifikovani zeolit), organskog (esterifikovani glukomanan) i kombinovanog sastava, pri čemu su bolji rezultati utvrđeni pri pH 3.0, za razliku od pH 7.0. U novijim istražvanjima [29] utvrđeno je daje sličan biosorbent kombinovanog sastava (Mycifix^R Plus) uticao na eliminaciju mikotoksina u mleku krava hranjenih obrokom kontaminiranim mikotoksini (AFL B1, ZON, DON, FB1, T-2 toksin i OTA), pri tome je u ovoj grupi krava utvrđen veći pH, NH₃-N i broj bakterija u buragu (p<0,05) kao i produkcija mleka i sadržaj proteina u mleku (p<0,05).



Slika 2 - Indeks adsorpcije mikotoksina biomasom na pH 6.9 (*M. spicatum* i koštica breskve) i pH 7.0 (modifikovana koštica breskva i nemođifikovana i modifikovana koštica višnje)

Iako se rezultati u prezentiranim radovima mogu smatrati početnim oni imaju svoju važnost jer upućuju na zaključak da se i otpadna biomasa ispitivanih materijala može koristiti i kao biosorbent određenih mikotoksina. Stečena saznanja treba dopuniti novim ispitivanjima primenom novih i preciznijih metoda za merenje efikasnosti biosorpcije (HPLC-High performance liquid chromatography) i proverom istih rezultata u *in vivo* uslovima. Treba imati u vidu i mogućnosti dodatne aktivacije materijala, njegove optimalne granulacije i kompatibilnosti s drugim materijalima organskog ili mineralnog porekla s izraženim afinitetom prema pojedinim grupama mikotoksina.

4. ZAKLJUČAK

Visok indeks biosorpcije AFL B1 utvrđen je za vodeni korov *M. spicatum* (94.70 i 96.00%), dok je kod koštice breskve bio nešto manji (73.30 i 80.00%) a kod koštice višnje vidno slabiji (41.18 i 58.82%).

Vrednosti biosorpcije za OTA imale su zavisno od biosorbenta i pH izražena variranja (od 20.00 do 76.20 %). Najbolji afinitet prema DON-u imale su koštice breskve u prirodnom i modifikovanom obliku (50,00 %), pri pH 7.0, a prema ZON-u *M. spicatum* (70-75%). Ispitivani biosorbenti imali su mali afinitet prema DAS-u. Modifikovana koštica breskve adsorbovala je ovaj mikotoksin (pH 3.0 i 7.0) u iznosu od 16.67 i 33.33 %, a modifikovana koštica višnje 16.67% pri pH 7.0. Podjednako dobar afinitet prema T-2 toksinu utvrđen je za modifikovane koštice breskve i koštice višnje u nemođifikovanom i modifikovanom obliku (50.00 i 40.00 %), pri čemu je pri nižoj pH vrednosti afinitet prema vezivanju ovog mikotoksina bio veći.

Ostvareni rezultati, iako preliminarni, upućuju na zaključak da se otpadna biomasa ispitivanih materijala može koristiti i kao biosorbent pojedinih mikotoksina i supstituent komercijanih biosorbenata. Pri-

mena biosorbenata mikotoksina na bazi otpadne biomase je efikasno, ekološko i ekonomski prihvatljivo rešenje. Potpunije upoznata i određena upotrebna vrednost otpadne biomase doprineće rešavanju problema njenog korišćenja (oko 1.56 miliona tona/god. u Srbiji), kruženju organske materije u prirodi i efikasnijem upravljanju resursima primarne poljoprivredne proizvodnje i prehrambene industrije.

Zahvalnost

Rad je realizovan u okviru projekta TR 31003, koji finansira Ministarstvo prosvete nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Mobett T.(1999) The Mycotoxin Menace. Feeding Times 4.3.
- [2] Jakić-Dimić, D., Nešić, K. (2009): Mikotoksini u hrani za životinje. Zbornik radova, XIII Simpozijum Tehnologija hrane za životinje, Novi Sad, 82-93.
- [3] Oswald, I. (2012): The impact of mycotoxins on the intestine. 15. International Feed Technology Symposium "Feed to Food" Novi Sad, 03-05 October, 2012, Proceedings, 24
- [4] Radulović, S., Marković, R., Milić, D., Jakić-Dimić, D., Šefer, D.(2013): Importance of monitoring the presence of aflatoxin in milk and feeds for dairy cows nutrition. XIII Middle European Buiatric's Congress. Proceedings, 244-257, Belgrade, Serbia.
- [5] Riley, R. T., Norred, W. P. (1999): Mycotoxin prevention and decontamination - a case study on maize, Food Nutrition and Agriculture, 23, 25-32.
- [6] Sinovec, Z., Resanović, R., Zurovac-Kunovac, O. (2000): Nutritivni značaj prisustva sekundarnih metabolita *Aspergillus* i *Penicillium* gljivica plesni u stočnoj hrani. 12.Savetovanje veterinaru Srbije. Zbornik radova, 85-94, Vrnjačka Banja.
- [7] Cheli, F., Pinotti, L., Rosi, L., Dell Orto, V. (2012): Wheat milling and mycotoxin fractionation in by products: A systematic review. 15. International Feed Technology Symposium "Feed to Food", Novi Sad, 03-05 October, 2012, Proceedings, 17.
- [8] Adamović, M., Sinovec, Z, Nešić, S., Tomašević-Čanović, M (2001): Doprinos adsorbenata mikotoksina efikasnijem korišćenju stočne hrane. IX Simp. Tehnol. stočne hrane, Zlatibor, 21-44.
- [9] Daković, A., Sekulić, Ž., Rottinghaus, G.E., Matijašević, S., Miličević, S., Stojanović, A. (2008): Montmorillonite modified with copper ions—efficient adsorbent for aflatoxin B1. Veterinarski. Glasnik. 62, 1/2, 35 – 42.
- [10] Bočarov-Stančić. A, Adamović, M., Salma, N., Bodroža-Solarov, M., Vučković, J., Pantić, V. (2011): *In vitro* efficacy of mycotoxins' adsorption by natural mineral adsorbents, Biotechnology in Animal Husbandry 27 (3),1241-1251.
- [11] Bočarov-Stančić, A., Adamović, M., Lopičić, Z., Milojković, J., Pantić, V., Stanković, S. (2012a): Evaluation of natural adsorbent s to adsorb fusariotoxins *in vitro*. The First International Symposium on Animal Science, Book I, 654-664.
- [12] Bočarov-Stančić, A., Lopičić, Z., Milojković, J., Adamović, M., Salma, N., Pantić, V.(2012b): The efficiency of *in vitro* adsorption of mycotoxins by adsorbents of plant origin. Proceedings 6 th Central European Congress on Food. Novi Sad, 23-26 May, 2012, Proceedings, 1131-1136.
- [13] Lopičić, Z., Bočarov–Stančić, A., Stojanović, M., Milojković, J., Pantić, V., Mihajlović, M., Adamović, M. (2013a): *In vitro* mycotoxins adsorption by sour cherry stones. Biotechnology in Animal Husbandry (u štampi)
- [14] Lopičić R. Z., Bočarov – Stančić, S.A., Stojanović, D.M., Milojković, V.J., Pantić, R.V., Adamović, J. M. (2013b): *In vitro* evaluation of the efficacy of peach stones as mycotoxin binders. Proc. Nat. Sci. Matica Srpska, 124, 287-296.
- [15] Milojković, J., Lačnjevac, Č., Šošarić, T., Stojanović, M., Lopičić, Z., Mihajlović, M. (2011): Application of various waste biomass in the preservation of natural environment, Ecologica, 62 (18), 229-233.
- [16] Stojanović, M., Lopičić, Z., Milojković, J., Lačnjevac, Č., Mihajlović, M., Petrović, M., Kostić, A. (2012): Biomass waste material as potential adsorbent for sequestering pollutants, Zaštita materijala, 53 (3) 231-237.
- [17] Febrianto, J., Kosasih, A.N., Sunarso, J., Ju, Y.H., Indraswati, N., Ismadji, S. (2009): Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies, Journal of Hazardous Materials, 162, 616–645.
- [18] Tranquil, D., Vladimirovich Kanarsky A., Tranquil, E., Albertovna Kanarskaya, Z., Tigranovich Kopylov, A. (2012): Mycotoxin binding food and feed additive and processing aids, fungistatic and bacteriostatic plant protecting agents and methods of utilizing the same (www.faqs.org/patents/app/20120070516).
- [19] Veglio, F., Beolchini, F. (1997): Removal of metals by biosorption. Hydrometallurgy, 44, 301–16.
- [20] Bohumil Volesky B.(2007): Biosorption and me. Water Research, 41, 4017-4029.
- [21] Milojković, J., Stojanović, M., Ristić, M. (2010): Biosorpcija kao nova biotehnologija u funkciji očuvanja i uravnoteženog korišćenja biodiverziteta, Ecologica, 58 (17),147-150.
- [22] Lopičić, Z., Stojanović, M., Lačnjevac, Č., Milojković, J., Mihajlović, M., Šošarić, T. (2011): The

- copper biosorption using unmodified agricultural waste materials. *Zaštita materijala*, 2 (3) 189-193.
- [23] Thimm, N., Schwaighofer, B., Ottner, F., Fröschl, H., Greifenender, S. and Binder, E.M. (2001): Adsorption of mycotoxins. *Mycotoxin Research* 17, 219-223.
- [24] Smith, T.K. (1980a): Influence of dietary fiber, protein and zeolite on zearalenone tixicosis in rats and swine. *J. Animal Sci.*, 50, 278-285.
- [25] Smith, T.K. (1980b): Effect of dietary protein, alfalfa and zeolite on excretory patterns of 5', 7' - [3H] zearalenone in rats. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 58, 1251-1255.
- [26] Lyons, T.P. (1999): Definisavanje sveobuhvatne strategije radi zadovoljenja zahteva u lancu poljoprivreda-prehrambena industrija-potrošač. 13. Evropska, Bliskoistočna i Afrička serija predavanja, prevod, Beograd
- [27] Nešić, D.V., Marinković, M. D., Nešić, D. K., Resanović, D. R. (2009): Examination of the efficacy of various feed additives on the pathomorphological changes in broilers treated with T-2 toxin. *Proc. Nat. Sci. Matica Srpska*, 116, 49-54.
- [28] Nešić, D.V., Ostojin, V. M., Nešić, D. K., Resanović, D. R. (2009): Evaluation of the efficacy of different feed additives to adsorb T-2 toxin *in vitro*. *Proc. Nat. Sci. Matica Srpska*, 116, 49-54.
- [29] Vukić-Vranješ, M., Jovanović, R. (2013): Influence of feedstuff mycotoxins on health and performance of dairy cattle. XIII Middle European Buiatrics Congress. Proceedings, 237-243. Belgrade, Serbia.

ABSTRACT

BIOSORPTION OF MYCOTOXINS BY WASTE BIOMASS

*The paper presents the results of in vitro studies of the possibility of using waste plant materials: biomass of aquatic weed *Myriophyllum spicatum* (Eurasian watermilfoil or spiked watermilfoil) and fruit stones (peach and sour cherry) in a natural and chemically modified form, as a potential biosorbents of different mycotoxins. Biosorption indexes were examined at pH 3.0, 6.9 or 7.0, respectively in electrolyte 0.1 M K_2HPO_4 . The highest biosorption indexes of aflatoxin B1 (AFL B1) were determined by algae *M. spicatum* (94.70 and 96.00%, respectively). Unmodified peach stones bind less quantities of AFL B1 (73.30 and 80.00%, respectively) while sour cherry stones adsorbed the smallest quantity of applied AFL B1 (58.82 and 41.18 %, respectively). The values of biosorption for ochratoxin A (OTA) varied a great deal, depending on the biosorbent type and pH values (20.00-76.20%). The best affinity to vomitoxin (DON-in), was observed by unmodified peach stones (50%), at pH 6.9, and for zearalenone (ZON) by *M. spicatum* (70 and 75%, respectively). Binding of diacetoxyscirp enol (DAS), although much weaker, was recorded at both pH values of applied electrolyte by modified peach stones (16.67 and 33.33%, respectively) and modified sour cherry stones (16.67%). Equally good affinity for T-2 toxin was found in modified peach stones, and unmodified and modified form of sour cherry stones (50.00 and 40.00%, respectively); at lower pH value (3.0) adsorption of this mycotoxin was more pronounced. Presented results indicate that the tested waste biomasses, in the natural or modified form, were effective biosorbents of different mycotoxins with the highest affinity for AFL B1.*

Key words: waste biomass, *Myriophyllum spicatum*, fruit stones, biosorption, in vitro, mycotoxins

Review paper

Received for Publication: 10. 07. 2013.

Accepted for Publication: 11. 10. 2013.